

착색단고추 품종에 따른 복숭아혹진딧물의 발육특성 및 섭식행동

윤규식 · 서미자 · 강민아 · 권혜리 · 박민우 · 조신혁 · 유용만 · 윤영남*

충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과

Developmental Characteristics and Feeding Behavior of Green Peach Aphid (*Myzus persicae*) on Sweet Pepper (*Capsicum annuum*) Cultivars

Kyu Sik Yoon, Mi Ja Seo, Min Ah Kang, Hye Ri Kwon, Min Woo Park, Shin Hyuk Jo, Yong Man Yu and Young Nam Youn*

Department of Applied Biology, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University

ABSTRACT: To investigate host preference of *Myzus persicae* on 15 sweet pepper cultivars grown in Jeonnam Province, EPG (electrical penetration graph) and life table experiments were carried out in the laboratory. Phloem phase times were significantly longer on Ferrari, Jinju, Debla, and Rapido than Orobell and Thialf. Non-penetration times were conversely observed. Life span, reproduction period, total fecundity, and intrinsic rate of increase (r_m) of *M. persicae*, were higher on Ferrari, Debla, Orange glory, and Jinju than on Purple, GreenAce, Orobell, and Thialf. On the bases of these results, we conclude that *M. persicae* preferred Ferrari, Jinju, Orange glory, and Debla among the 15 tested sweet pepper varieties. However, we could not show the preference of the aphid for Purple, Orobell, and Thialf.

Key words: *Myzus persicae*, EPG, Life table, Sweet Pepper (*Capsicum annuum*), Cultivars

초 록: 우리나라에서 재배되고 있는 착색단고추에 주로 피해를 주는 복숭아혹진딧물과 국내 전남지역의 착색단고추 수출농가에서 많이 재배되고 있는 품종중 15품종을 선발하여 각각의 EPG 패턴과 섭식행동간의 관계를 알아보고 생명표작성 조사를 통한 생태학적 연구를 통해 품종간 비교 연구를 수행하였다. 복숭아혹진딧물의 실질적인 섭식행동패턴인 체관부 섭식패턴과 구침을 빼고 있는 패턴의 시간과 빈도를 조사한 결과, Ferrari, Jinju, Debla, Rapido 품종에서 체관부 섭식시간은 길고 구침을 빼고 있는 시간은 짧게 기록되었다. 반면에 Orobell, Thialf 품종에서의 체관부 섭식시간은 상대적으로 짧았으며 구침을 빼고 있는 시간은 높게 나타났다. 수명, 생식기간 및 산자수, 내적자연증가율을 확인하여 품종간 비교한 결과에서도, Ferrari, Debla, Orange glory, Jinju 품종에서 높게 나타났으며, Purple, GreenAce, Orobell, Thialf 품종은 낮게 나타났다. 두 실험결과를 토대로 실험에 이용한 15개 착색단고추 품종 중 복숭아혹진딧물이 선호하는 품종은 Ferrari, Jinju, Orange glory, Debla였으며, Purple, Orobell, Thialf 품종은 선호하지 않는 품종으로 판단된다.

검색어: 복숭아혹진딧물, EPG, 생명표, 착색단고추, 품종

파프리카(*Capsicum annuum* L.)는 중앙아프리카가 원산지로 한국명으로는 ‘착색단고추’라 부른다. 빨간색, 노랑색, 주황색, 자주색 등을 띠고, 매운 맛이 적고 단맛이 나며 비타민 C가 풍부하다(Choi *et al.*, 2009). 국내에 도입된 것은 약 10년 전으로

주로 수출을 위해 재배되었으나, 최근에는 우리나라에서도 피자, 샐러드용 등으로 많이 소비되어 일년 내내 생산되며(Lee, 2001), 그 재배면적 또한 1997년에는 4 ha에 불과했지만 주요수출대상국인 일본의 소비량이 증가함에 따라 2002년에는 135 ha 까지 급증하였다(Jeong *et al.*, 2006).

착색단고추에 주로 발생하는 해충으로 총채벌레류를 비롯해 잎응애류, 가루이류, 진딧물류, 나방류, 노린재류, 뿌리파리류 등 다수의 해충 종이 보고되어 있으며(Kim *et al.*, 2008), 그 중에

*Corresponding author: youngnam@cnu.ac.kr

Received June 13 2011; Revised November 12 2011;

Accepted November 25 2011

서도 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*)은 잎, 줄기, 꽃이나 열매를 가해하여 많은 피해를 주고, 직접적인 가해로 인해 시들음과 생장저해를 유발할 뿐만 아니라 감로 배설로 인한 그을음병 유발 및 바이러스를 매개하는 매개자로서 간접적인 피해를 주고 있기 때문에 이를 방제하고자 하는 노력이 계속되고 있다. 이러한 복숭아혹진딧물의 기주식물은 총 66과 300여종이 기록되어 있는 만큼 매우 다양한 기주범위를 가지기 때문에 피해가 상당하다(Seo *et al.*, 2005).

기존엔 복숭아혹진딧물 방제를 위해 화학적 방제방법을 주로 의존해왔으나, 약제를 살포하는 횟수와 살포농도의 증가로 저항성해충의 출현을 가져오며 유용한 곤충에게 해를 가져오기도 하고, 농산물에 잔류할 경우 식품에 대한 부정적 요인으로 할 수 있다(Lee, 1982). 이와 같은 유기합성농약의 부작용과 약제 저항성 유발(Koshihara, 1988) 및 환경오염에 의한 농약공해의 지탄이 고조됨에 따라, 저독성 농약, 잔류성이 적은 농약, 천적에 해롭지 않은 농약의 개발을 서두르고 있는 한편, 많은 연구자들이 생물적방제에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다. 하지만 다양한 미생물제제나 천적을 이용한 생물학적 방제는 사실상 많은 제약과 고려사항이 전제되는데, 특히나 파프리카 재배지에서 복숭아혹진딧물을 방제하기 위해 사용되는 기생성 및 포식성 천적은 영농규모나 재배시설, 재배환경에 따라 방제효과에 있어 차이를 보이는 경우가 발생한다.

해충방제를 위해 저항성품종을 이용하는 것은 대상해충의 밀도를 저하시킬 뿐만 아니라 약제 저항성해충의 발생이나 천적이나 유용생물의 감소, 잠재해충의 해충화, 잔류독성 및 생태계 균형파괴를 동반한 환경오염 등 여러 부작용을 최소화할 수 있는 장점이 있다(Song *et al.*, 1972; Bae *et al.*, 1987; Hwang *et al.*, 2002). 이러한 저항성 품종을 선발하기 위해서 품종별 대상 곤충의 생명표를 작성하거나 EPG와 같은 전기생리학적 기법을 통해 섭식행동을 측정하여 비교한 연구결과들을 확인할 수 있는데, 국내에서는 복숭아혹진딧물의 기주식물의 품종별 성충수명과 산자수를 조사하거나(Song and Motoyama, 1996; Choi *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2005), 발육기간, 생존율, 산란율을 조사하여 작성한 생명표로 유전자변형작물과 모본 작물간의 차이를 확인하기도 하였다(Kim and Kim, 2004). 또한 Park *et al.*(2007)은 유전자변형 탄저병 저항성 고추가 비표적 곤충인 복숭아혹진딧물에 미치는 영향을 생태학적 특성 조사를 통해 확인한 바 있다.

Velusamy and Heinrichs(1986)는 저항성과 감수성 품종의 벼에서 벼멸구의 섭식행동을 처음으로 관찰 비교하였으며, 그 후 Kim *et al.*(2005)는 EPG 기술을 이용해 충남지역에서 재배되는 10종의 벼 품종에서의 벼멸구 섭식행동을 비교하여 벼멸구의 품종선호성을 확인한 바 있다. Miao and Han(2007)은 차나

무품종에 따른 초록애매미충의 섭식행동을 관찰하였으며, Kordan *et al.*(2008)는 미선콩과 가는잎미선콩 품종을 사용하여 완두수염진딧물의 기주적합성을 판별하는 실험을 수행하였다. Hu *et al.*(2008)은 세가지 밀 품종에 대한 보리수염진딧물의 EPG 비교 실험을 하였고, Yang *et al.*(2009)는 고추와 토마토 품종별로 담배가루이 B와 Q biotype의 섭식행동을 관찰하였다. 따라서 복숭아혹진딧물의 생태적 특성을 조사하여 생명표를 작성하고, EPG 기술을 이용해 품종간 섭식행동을 조사하여 비교함으로써 복숭아혹진딧물의 착색단고추 품종별 선호성을 확인할 수 있을 것으로 판단되어, 15종의 착색단고추 재배품종을 선발하여 본 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

실험곤충과 기주식물

본 실험에 사용된 복숭아혹진딧물은 대전시 유성구 고추 포장에서 채집한 개체군을 직접 파종하여 기른 4주 경과된 착색단 고추를 아크릴 사육용기(40×44×50 cm)에 넣어 복숭아혹진딧물을 접종하여 온도 25±1℃, 상대습도 50-60%, 광주기 16L:8D의 사육실 조건에서 누대 사육하였다. 생명표 작성 실험을 제외한 실험에서 복숭아혹진딧물은 무시형 성충을 사용하였다. 기주식물로는 전남지역에서 많이 재배되고 있는 품종인 부기(Boogie), 콜레티(Coletti), 데브라(Debla), 페라리(Ferrari), 그린에이스(GreenAce), 헬싱키(Helsinki), 진주(Jinju), 메그니피코(Magnifico), 마쭌나(Mazzona), 오렌지글로리(Orange Glory), 오로벨(Orobell), 퍼플(Purple), 라피도(Rapido), 스키로코(Scirocco), 티알프(Thialf) 총 15종의 품종을 파종 후 발아한지 4주가 지난 유묘를 실험에 사용하였다.

생명표 작성 및 통계분석

온도조건 25±1℃, 상대습도 50~60%, 광주기 16L:8D에서 파종 후 4주가 지난 착색단고추 유묘에 복숭아혹진딧물 1령 약충을 1마리씩 접종하여 1령 약충 때부터 죽을 때까지를 수명기간으로 설정하였다. 산자수는 24시간 간격으로 매일 조사하였으며, 성충 우화 후부터는 처녀생식에 의한 산자를 제거하여 중복조사를 피하도록 하여 약충발육기간, 성충수명, 산자수 등을 조사하였다. 생명표는 Maia *et al.*(2000)가 제시한 방법에 따라 계산하였고, 매개변수의 추정에는 Meyer *et al.*(1986)가 제안한 Jackknife방법을 이용하여 개체군의 수명, 순증가율(R_0), 내적자연증가율(r_m), 평균세대기간(T_c) 등을 계산하였다. 모든 통계

분석은 SPSS(PASW Statistics 18.0) 일원배치분산분석을 통해 각 품종간 $p > 0.05$ 범위에서 유의성 검정을 수행하였으며, DUNCAN 분석으로 사후 검정하였다.

EPG 기록과 통계분석

복숭아혹진딧물의 착색단고추 품종별 섭식정도를 다음과 같은 4가지의 특징적인 EPG 파형분석을 통해 비교하였다(Fig. 1). 첫 번째 파형은 비탐침파형(non-probing)으로 기주곤충의 구침이 식물체로부터 완전히 떨어진 상태를 나타내는 파형이다. 일반적으로 이 파형은 복숭아혹진딧물이 구침으로 식물체 표피를 뚫고 흡즙하기 전이나 섭식 후 구침을 빼고 휴식을 취하고 있을 때 나타나는 파형으로 전체 섭식행동기록시간동안의 비탐침파형시간을 조사하는 것은 품종에 따른 섭식정도를 비교할 수 있

는 단서가 된다. 또한 복숭아혹진딧물의 실질적인 기주식물 섭식은 체관부에 구침을 삽입하여 흡즙하는 행동으로 확인되기 때문에, 체관부섭식파형(phloem phase)을 조사하여 비교하였다. 이 외에 구침의 세포간 이동이 불규칙하게 나타나는 구침활성파형(pathway phase)과 규칙적이고 조밀한 전압의 변화로 나타나는 물관부섭식파형(xylem phase)을 품종간 비교하였다. Pathway waveform은 복숭아혹진딧물이 흡즙을 하기 위해 구침을 삽입하고 세포사이에서 구침이 이동할 때 나타나는 신호로서 매우 불규칙적인 진동을 나타낸다. Xylem phase는 복숭아혹진딧물이 구침을 물관에 삽입하여 수분을 흡수할 때 나타나는 신호이다. 매우 규칙적이고 조밀한 전압의 변화를 나타낸다.

EPG(Electrical Penetration Graph) 기록은 Tjallingii(1978)가 고안한 방법을 이용하여 실험에 이용할 착색단고추의 뿌리가 상하지 않도록 잘 씻은 후 탈지면으로 감싸 물을 채운 삼각플

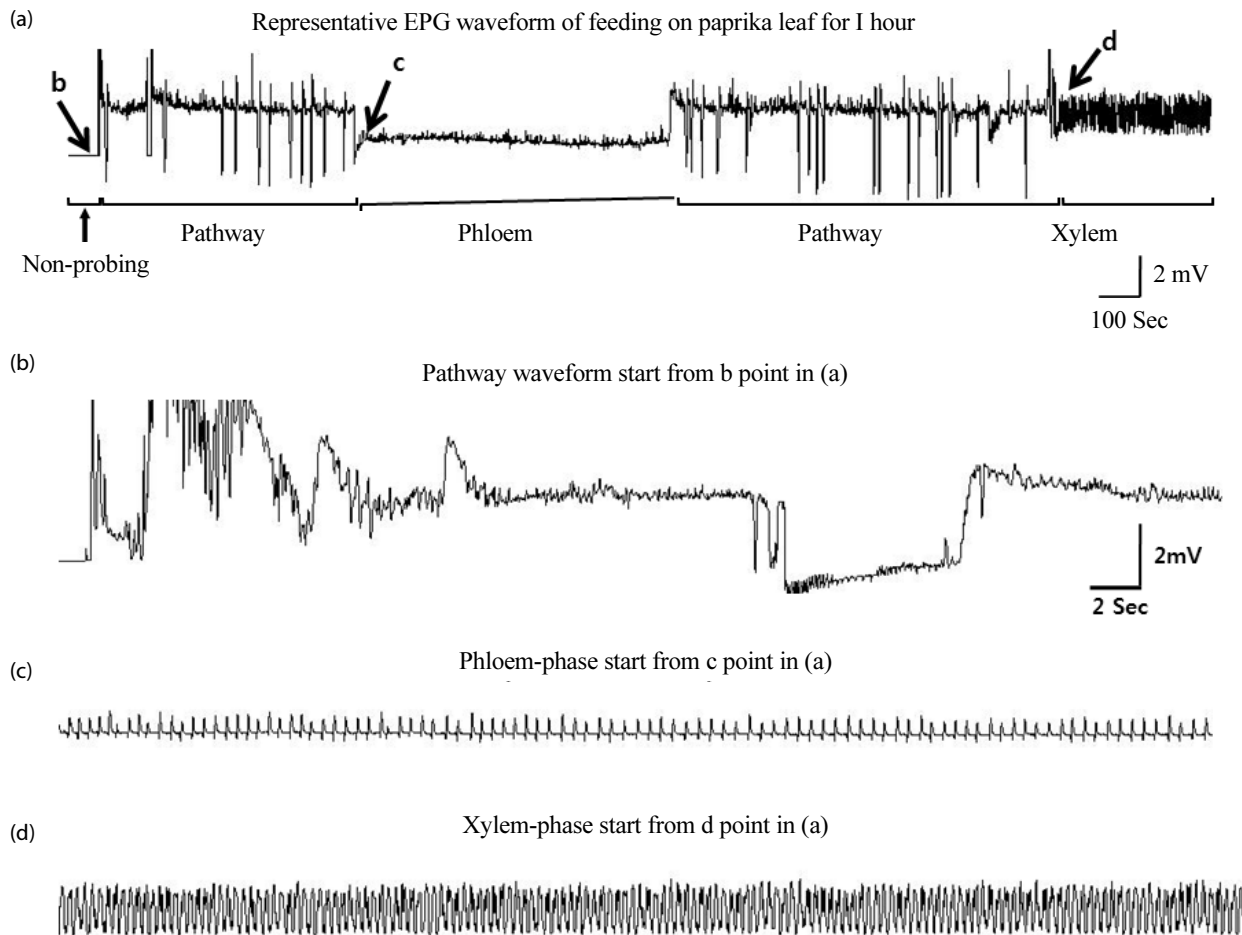


Fig. 1. Representative EPG recordings showing waveform patterns produced when *Myzus persicae* adults feed on paprika leaf. (a) EPG waveform positive voltage reflecting intracellular probing activities. 'Non-probing' indicates stylets have not penetrated plant tissue. (b) EPG waveform showing positive voltage reflecting intercellular probing activities. 'Pathway' indicates probing activities in epidermis, mesophyll or parenchyma cells. (c) 'Phloem-phase' indicates sap ingestion from phloem sieve elements. (d) 'Xylem-phase' indicates sap ingestion from xylem sieve elements.

라스크(Pyrex, 250ml, US)에 뿌리부분을 넣고 무시형 성충 복숭아혹진딧물을 1시간 끓인 뒤, 해부현미경을 이용하여 지름이 25 μm 인 금선(Goodfellow, UK)을 약 4cm 길이로 잘라 전도성이 있는 silver conductive paint(RS. 101-5621, UK)를 이용하여 작은 볼을 만들어 진딧물의 등판에 부착시켜 GIGA-4 DC EPG amplifier에 연결하고, 금선이 연결된 진딧물을 착색단고추에 올려놓아 총 5시간동안 기록하였다. EPG 신호는 STYLET 3.8 program으로 분석하였으며, EPG기록 결과의 각 품종별 차이는 SPSS(PASW Statistics 18.0) 일원배치분산분석을 통해 각 품종간 $p > 0.05$ 범위에서 유의성 검정을 수행하였으며, DUNCAN 분석을 통해 사후 검정하였다.

결과

생명표 작성

착색단고추 품종별 복숭아혹진딧물의 선호성정도를 비교하기 위해 실내에서 약충 발육기간, 사망률, 성충수명, 산자수 등의 생태학적 특성을 조사하였다(Table 1). 15 종의 착색단고추 품종에서 복숭아혹진딧물의 생식이 빨리 나타나는 품종들은 Debla, Ferrari, Orange glory 품종으로 5.4일에서 6.0일정도 경과 후 성

충의 생식이 개시된 반면, Purple, GreenAce 두 품종은 6.5일에서 6.6일로 위에 제시한 품종들에 비해 생식개시일에 있어 큰 차이를 확인할 수 있었다.

복숭아혹진딧물의 수명은 Coletti 품종에서 약 16.2일로 가장 짧았고 Mazzona 품종에서 약 19.3일로 가장 길게 나타났다. 생식이 늦게 개시된 Purple이나 GreenAce 두 품종은 수명에 있어서도 16.9일과 17.7일로 짧게 나타났다. 이 외 품종에서는 복숭아혹진딧물의 수명에 있어 큰 차이를 나타내지 않았으며, 이들 처리간에도 통계적으로 유의성을 확인할 수 없었다.

15종의 착색단고추 품종에서 복숭아혹진딧물의 생식기간은 Coletti 품종에서 약 11.0일로 생식기간이 가장 짧았고 Orange Glory 품종에서 약 14.6일로 가장 길게 나타났다.

총 산자수에 있어서도 품종간 차이를 보였는데, Orange Glory 품종에서 약 48.8마리였고 Coletti 품종에서 약 30.8마리로 약 14.0마리의 차이를 보였다. Boogie, Coletti, Helsinki, Magnifico, Mazzona, Purple, Rapido, Scirococo 품종들에서는 40마리 이하의 산자수를 나타내었고 Debla, Ferrari, GreenAce, Jinju, Orange Glory, Orobell, Thialf 품종들에서는 40마리 이상의 산자수를 나타내었다.

15종의 착색단고추 품종에서 복숭아혹진딧물의 총 평균세대기간(T_c)은 Mazzona 품종에서 최대 약 11.0일, Ferrari 품종에

Table 1. Life table of *M. persicae* on 15 different sweet pepper varieties

Varieties	First reproduction	Lifespan	Reproduction period	Total fecundity	Generation time in day(T_c)	Net reproduction number(R0)	Intrinsic rate of increase (r)
Boogie	6.2±0.7bcd	17.7±2.5ab	12.5±2.4abcd	37.6±13.2abcde	10.5±0.1gh	37.7±1.4d	0.34±0.0043c
Coletti	6.2±0.6bcd	16.2±1.6a	11.0±1.7a	30.8±6.2a	9.9±0.0ab	30.9±0.6a	0.34±0.0024c
Debla	5.4±0.5a	18.5±2.0ab	14.0±2.1cd	43.5±8.1cdef	10.1±0.1c	43.5±0.9f	0.37±0.0041h
Ferrari	6.0±0.7a	18.4±2.1ab	13.9±2.2cd	46.6±8.2ef	9.8±0.1a	46.5±0.9h	0.38±0.0042i
GreenAce	6.6±0.8d	17.7±2.1ab	11.9±2.0abc	45.3±11.0def	10.4±0.1fg	45.2±1.2g	0.36±0.0048g
Helsinki	6.2±0.6bcd	17.2±2.6ab	12.0±2.2abc	36.5±4.8abcd	10.1±0.1cd	36.6±0.6c	0.35±0.0051e
Jinju	5.8±0.4abc	17.6±2.1ab	12.8±2.3abcd	41.4±7.3bcdef	10.0±0.1b	41.4±0.8e	0.37±0.0037h
Magnifico	6.0±0.6abcd	17.3±2.5ab	12.3±2.4abc	37.8±6.5abcde	10.0±0.1b	37.6±0.9d	0.36±0.0045fg
Mazzona	6.2±0.4bcd	19.3±2.0b	14.1±2.0cd	38.2±5.2abcde	11.0±0.1j	38.2±0.5d	0.32±0.0031a
Orange Glory	5.5±0.5a	19.1±1.7b	14.6±1.6d	48.8±9.0f	10.3±0.1ef	48.8±1.0i	0.37±0.0037h
Orobell	5.6±0.5ab	17.2±3.1ab	12.4±2.7abcd	42.6±9.7bcdef	10.2±0.1de	42.8±1.9f	0.36±0.0048g
Purple	6.5±0.5d	16.9±1.4ab	11.4±1.5ab	34.9±9.7abc	10.1±0.0cd	34.9±1.0b	0.34±0.0029d
Rapido	6.3±0.8cd	17.6±2.5ab	12.3±1.8abc	34.3±7.0ab	10.6±0.1hi	34.4±0.7b	0.33±0.0040b
Scirococo	6.3±0.4cd	18.6±2.1ab	13.3±2.3bcd	35.0±6.2abc	10.7±0.0i	34.9±0.6b	0.33±0.0024ab
Thialf	5.8±0.7abc	17.9±2.2ab	13.1±1.9abcd	41.5±10.1bcdef	10.3±0.1ef	41.5±1.0e	0.35±0.0056f
<i>P</i>	0.000**	0.167 ^{NS}	0.005**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**

^a Values represent mean ± SD. Different letter at values in rows show significant (One-way ANOVA, Post Hoc tests by Duncan) in PASW statistics 18.0 ** indicates $P < 0.01$, ^{NS} $P > 0.05$

서 최소 약 9.8일로 약 1.2일의 차이를 보였다. Coletti, Debla, Ferrari, GreenAce, Helsinki, Jinju, Magnifico, Orange Glory, Orobell, Purple, Thialf 품종들에서는 10.5일 이하의 평균세대기간(Tc)을 나타내었고 Boogie, Mazzona, Rapido, Scirococo 품종들에서는 10.5일 이상의 평균세대기간(Tc)을 나타내었다. 각 품종간의 차이는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

순증가율(Ro)은 Orange Glory 품종에서 최대 약 48.8, Coletti 품종에서 최소 약 30.9로 약 17.9의 차이를 보였다. Boogie, Coletti, Helsinki, Magnifico, Mazzona, Purple, Rapido, Scirococo 품종들에서는 39.0 이하의 순증가율(Ro)을 나타내었고 Debla, Ferrari, Green Ace, Jinju, Orange Glory, Orobell, Thialf 품종들에서는 39.0 이상의 순증가율(Ro)을 나타내었다. 각 품종간의 차이는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

복숭아혹진딧물의 내적자연증가율(rm)의 품종간 차이를 확인한 결과, Ferrari 품종에서 최대 약 0.38, Mazzona 품종에서 최소 약 0.32로 약 0.06의 차이를 보였다. Boogie, Coletti, Mazzona, Purple, Rapido, Scirococo 품종들에서는 0.35 이하의 내적자연증가율(rm)을 나타내었고 Debla, Ferrari, Green Ace, Helsinki, Jinju, Magnifico, Orange Glory, Orobell, Thialf 품종들에서는 0.35 이상의 내적자연증가율(rm)을 나타내었다.

품종별 각 EPG파형의 비교 분석

15종의 착색단고추 품종들에 따른 복숭아혹진딧물의 EPG 파형 분석을 통해 품종에 따른 섭식행동에 있어 차이를 확인하고자 하였다. Table 2는 최초 구침이 식물체를 탐침하기까지 소요된 시간, 전체 기록시간 중 총 탐침횟수, 구침을 빼고 있는 총 시간, 구침의 활성이 나타나는 횟수 및 총 시간을 조사하여 품종별로 비교하였다. 5가지 행동패턴에 대한 분석 결과는 다음과 같다.

15종의 착색단고추 품종에서 복숭아혹진딧물 성충이 최초 구침을 찌르는 시간은 Boogie에서 74.1초로 가장 빨랐고 Magnifico에서 640.8초로 가장 늦게 구침을 찌르는 반응을 확인할 수 있었다. 품종별로 차이를 보였지만 통계적으로 유의성은 없는 것으로 나타났다.

구침의 탐침횟수는 복숭아혹진딧물의 주요 기주탐색행동으로, Thialf 품종이 73.3회로 탐침횟수에 있어 가장 높았고 Jinju가 18.6회로 가장 낮은 탐침횟수를 보여주었다. Thialf를 제외하더라도 14개 품종간에는 탐침횟수에 있어 차이를 확인할 수 없었다.

섭식을 하지 않는 행동을 확인할 수 있는 구침을 빼고 있는 패턴을 품종별로 조사한 결과, Ferrari에서 2,111.1초로 가장 짧았고 Orobell에서 가장 긴 6,373.6초로 나타났다. Ferrari, Jinju, Rapido은 구침을 빼고 있는 시간에 있어 다른 품종들에 비해 상

대적으로 짧은 시간을 기록하였으며, Orobell, Thialf 두 품종은 실험에 이용된 다른 품종들과 비교했을 때 비교적 긴 비탐침시간을 보였다. 뿐만 아니라 생식개시일 늦고 수명과 생식기간이 다른 품종들에 비해 짧았던 Purple이나 GreenAce 두 품종의 경우 전체 섭식행동기록시간 중 구침을 빼고 있는 시간이 길게 나타나, 이 두 품종은 복숭아혹진딧물의 섭식행동분석으로 판단했을 때 다른 품종들에 비해 섭식에 적합하지 않은 것으로 생각되었다.

15종의 착색단고추 품종에서 구침을 찌러 기주세포의 섭식 부위를 찾는 섭식패턴인 pathway phases 패턴을 보면, 각 품종간에 큰 차이를 보이지 않았는데 그 중에서도 Thialf에서 다른 품종들에 비해 구침의 활성이 활발히 이루어진 것을 확인할 수 있었다. Thialf 품종의 경우, 탐침횟수에 있어서도 다른 품종들에 비해 많았으며 전체 섭식행동기록시간 중 식물체로부터 구침을 빼고 있는 시간이 높게 나타나, 복숭아혹진딧물이 섭식에 부적절하여 여러차례의 탐침행동을 통한 기주탐색행동이 이루어졌을 것으로 판단된다.

구침을 찌러 기주세포의 섭식부위를 찾는 활동인 pathway phases 총 시간은 Debla에서 2,263.4초로 가장 길었고 Magnifico에서 916.9초로 가장 짧은 것을 확인하였다. 구침의 활성패턴이 나타난 빈도가 가장 높았던 Thialf 품종은 구침의 활성패턴 총 시간에 있어서도 역시 다른 품종들과 비교했을 때 높게 나타나 복숭아혹진딧물에 있어 섭식에 적당하지 않은 기주라는 판단을 더 확실하게 뒷받침해주는 결과를 다시 확인할 수 있었다(Table 2).

Table 2은 품종별 물관부 섭식빈도 및 시간, 체관부 섭식빈도 및 시간, 실질적인 섭식행동인 체관부섭식패턴이 나타나기까지 소요된 시간을 측정하여 나타내었다. 복숭아혹진딧물이 물관부 섭식하는 횟수는 Magnifico에서 2.0회로 가장 많이 나타났고 Mazzona에서 0.5로 가장 적게 나타났으며 품종에 따른 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 물관부 섭식 시간은 Green Ace에서 195.2초 가장 짧게 나타났고 Magnifico에서 3,190.9초로 가장 길게 나타났다. Xylem phases은 복숭아혹진딧물의 구침이 물관에 삽입되어 수분을 흡수할 때 나타나는 패턴인데 각 품종마다 그 시간이 짧거나 없는 것은 복숭아혹진딧물이 일반적으로 체관을 흡즙하는 phloem-feeder로서의 섭식특성에 의한 것으로 생각할 수 있다.

15종의 착색단고추 품종에서 복숭아혹진딧물의 구침이 phloem phases에 도달한 횟수는 Purple에서 11.2회로 가장 많았고 Rapido에서 4.3회로 가장 적었다. 그 외의 나머지 품종들에서는 그리 큰 차이를 나타내지 않았지만 각 품종간 통계적으로 유의한 차이를 확인할 수 있었다.

복숭아혹진딧물의 실질적인 섭식패턴인 체관부 섭식행동인

Table 2. Comparison of *M. persicae* on 15 different sweet pepper varieties using EPG techniques for 5 hours

	Times to the first probes(s)	Total number of probes	Total duration of non-probes time(s)	Total number of pathway phases	Total duration of pathway phases time(s)
Boogie	74.1±80.2a	24.1±10.4a	3,279.1±1,701.2abc	34.0±12.6a	1,710.6±446.8ab
Coletti	83.1±66.9a	36.8±34.9a	4,006.8±2,129.4abcd	40.5±36.2a	1,094.2±795.1a
Debla	105.0±139.3a	39.7±19.2a	4,578.3±2,748.0abcd	48.1±21.4a	2,263.4±1667.9b
Ferrari	112.8±182.4a	28.3±11.5a	2,111.1±1,349.0a	37.8±13.4a	1,503.5±583.0ab
Green Ace	372.3±660.3a	30.1±10.7a	5,127.9±2,260.0cd	42.3±14.7a	1,462.1±674.3a
Helsinki	287.1±347.3a	29.3±28.0a	2,477.3±1,608.4ab	33.8±28.1a	1,320.6±986.0a
Jinju	102.2±139.6a	18.6±11.8a	2,374.2±1,595.7a	25.6±12.5a	1,033.1±511.5a
Magnifico	640.8±1580.6a	26.2±12.9a	3,647.6±3,029.9abc	36.6±15.7a	916.9±450.8a
Mazzona	172.7±236.5a	36.7±16.9a	3,713.4±1,450.0abc	45.4±19.6a	1,404.5±756.4a
Orange Glory	191.1±282.5a	35.8±22.6a	4,885.8±1,957.5bcd	43.2±25.3a	1,178.8±664.0a
Orobell	504.9±741.9a	25.6±13.3a	6,373.6±3,155.9d	37.8±15.7a	1,256.5±914.9a
Purple	319.9±615.6a	29.9±11.9a	5,196.3±3,327.5cd	44.5±16.0a	1,660.5±609.9ab
Rapido	176.0±281.6a	20.6±17.8a	2,319.5±1,708.2a	27.0±21.2a	988.5±520.6a
Scirococo	444.8±795.3a	24.5±24.6a	3,567.6±2,803.7abc	32.6±28.9a	1,164.8±620.4a
Thialf	90.6±90.5a	73.3±35.9b	6,328.0±3,523.4d	83.5±36.3b	1,692.2±894.1ab
<i>P</i>	0.506 ^{NS}	0.000 ^{**}	0.000 ^{**}	0.000 ^{**}	0.023 [*]

	Total number of xylem phases	Total duration of xylem phases time(s)	Total number of phloem phases	Times to the first phloem phases	Total duration of phloem phases time(s)
Boogie	0.9±0.7a	1,251.7±1,758.9ab	7.4±3.6abc	1,662.6±2,103.7b	11,758.6±2,049.4abcd
Coletti	1.1±0.9a	920.9±1,051.8ab	4.9±2.9a	1,446.8±1,189.2ab	10,828.1±4,167.3abcd
Debla	0.6±0.8a	1,010.0±1,653.0ab	7.5±2.4abc	1029.1±909.5ab	10,148.3±3,039.8abc
Ferrari	0.8±0.7a	1,402.6±1,424.2ab	9.0±3.3bcd	444.2±311.4a	12,982.8±1,714.2cd
Green Ace	0.5±0.7a	195.2±279.3a	8.6±3.7bcd	1,089.4±909.5ab	11,137.1±2,092.4abcd
Helsinki	1.1±0.8a	1,996.4±1,844.6bc	6.4±2.8abc	849.4±666.1ab	12,203.0±2,779.2abcd
Jinju	0.9±0.9a	1,503.5±1,592.3ab	4.7±2.0a	1,408.8±1,758.7ab	13,089.4±2,612.3cd
Magnifico	2.0±1.5b	3,190.9±2,263.6c	9.9±5.9bcd	1,089.6±1,710.5ab	10,209.5±2,545.7abc
Mazzona	0.4±0.5a	893.2±1,562.8ab	6.6±3.0abc	963.0±618.5ab	11,988.9±2,685.5abcd
Orange Glory	0.5±0.8a	595.3±1,289.4ab	5.5±2.4ab	1,214.2±830.5ab	11,340.1±2,685.5abcd
Orobell	0.4±0.5a	362.7±615.8a	8.6±3.5bcd	1,059.6±904.7ab	9,830.0±2,704.2ab
Purple	0.4±0.5a	483.1±756.1ab	11.2±3.9d	1,165.9±675.0ab	10,660.1±3,379.1abcd
Rapido	0.8±0.7a	1,170.5±1,497.9ab	4.3±2.9a	586.8±420.8ab	13,521.5±3,063.0d
Scirococo	0.9±1.1a	904.0±1,825.3ab	6.5±4.0abc	999.5±826.9ab	12,350.2±3,542.9bcd
Thialf	1.0±1.0a	753.2±975.7ab	8.7±3.4bcd	1,017.0±926.8ab	9,227.7±3,623.5a
<i>P</i>	0.016 [*]	0.002 ^{**}	0.000 ^{**}	0.658 ^{NS}	0.028 [*]

^a Values represent mean ± SD. Different letter at values in rows show significant (One-way ANOVA, Post Hoc tests by Duncan) in PASW statistics 18.0 ^{**} indicates $P < 0.01$, ^{*} $P < 0.05$, ^{NS} $P > 0.05$.

phloem phases를 분석하면 복숭아혹진딧물이 어느 품종에 대하여 어느 정도 선호성을 가지고 있는지 알 수가 있다. 따라서 품종별 체관부 섭식패턴이 나타나기 까지 소요된 시간과 총 체관

부섭식시간을 조사한 결과, Ferrari에서 444.2초로 가장 빨리 체관부 섭식행동이 나타났고 Boogie에서 1,662.6초로 체관부 섭식까지 가장 오랜 시간이 소요되었다. 체관부 총 섭식시간은

Ferrari, Jinju, Rapido, Orange glory에서 상대적으로 길었고 Orobell, Thialf에서 낮게 나타났다(Table 2).

고찰

흡즙형 구기를 가진 곤충의 섭식행동을 연구하기 위한 방법인 EPG는 매우 쉽고 편리한 기술이며 또한 많은 다른 곤충에게도 적용할 수가 있다(Kimmins, 1989). 이 방법은 곤충과 기주식물을 하나의 전기적 회로로 연결을 하고 곤충의 구침의 활동에 따른 전압의 변화에 기초하여 분석을 하게 되며 전기적인 system에 기록된 각 파형은 곤충이 식물에 구침을 삽입하는 것과 그 구침의 위치에 의해 관찰이 된다.

본 실험에서 기록된 4가지의 EPG 파형은 각각의 전기적인 특성과 복숭아혹진딧물의 구침의 위치에 의하여 결정하였다. 그중 가장 중점을 두고 관찰한 것은 복숭아혹진딧물이 직접적으로 착색단고추에 피해를 줄 수 있는 체관을 흡즙할 때 나타나는 Phloem phase과 Non-probing 파형이다. 복숭아혹진딧물의 경우 체관부 섭식행동을 주로 보이는 해충으로 섭식행동패턴 중 체관부 섭식행동시간과 기주로부터 구침을 빼고 있는 비탐침패턴의 시간을 측정하면 품종에 따른 기주로서의 적합성 정도를 비교할 수 있을 것으로 판단하고 실험을 수행하였다.

Khan & Saxena(1988)는 곤충이 식물을 섭식하지 못하는 것은 그 식물 자체에 그러한 섭식행동을 방해하는 능력이 있기 때문이라고 주장하였다. 저항성 품종과 감수성 품종을 가지고 실험을 했을 때 그들은 저항성 품종에서 곤충이 오랜 시간 탐색활동을 하고 반대로 섭식시간은 짧게 나타난다고 설명하였다. Lei *et al.*(1999)은 온실가루이의 토마토와 단고추의 두 기주 간 섭식행동에 대한 EPG 결과로, 토마토 품종에 대해서는 체관부 섭식시간이 길었으나 비기주인 단고추에 대해서 구침 탐침횟수가 짧았고 탐침시간과 체관부 섭식을 하지 않는 시간이 길었다고 제시하였다. 또한 저항성 품종에 대해서는 체관부 탐침 횟수가 길고 체관부 섭식 시간이 짧게 나타나는 경향을 보인다고 설명하였다. 또한 Kimmins(1989)는 벼멸구는 감수성 품종에서보다 내충성 품종에서 체관부의 흡즙시간이 더 짧았다고 보고하였다.

본 실험에서도 체관부 섭식(Phloem phase)파형과 구침을 빼고 있는(Non-probing)파형을 분석한 결과, 15개의 착색단고추 품종에 따른 차이를 확인할 수 있었다. 체관부 섭식시간은 Orobell, Thialf에서 짧은 시간동안 이루어졌고 Ferrari, Jinju, Rapido에서 오랜 시간 흡즙하였다(Table 3). 또한 구침을 빼고 있는 시간에서 Ferrari, Jinju, Rapido에서 짧게 나타났고 Orobell, Thialf에서 길게 나타났다(Table 2). 체관부섭식행동과 관련된 파형분석을 통해 Ferrari나 Jinju, Rapido, Debla 품종이

복숭아혹진딧물이 섭식하기에 적합한 품종으로 판단되며, Orobell, Thialf, Purple, GreenAce 품종은 복숭아혹진딧물이 섭식하는데 있어 선호하지 않는 품종으로 판단되었다.

하지만 섭식행동분석만으로 실험에 사용한 15가지 착색단고추 품종 중 복숭아혹진딧물 기주선호성 정도를 판단하는 것이 어려울 수 있으며, 일반적으로 식물의 저항성은 한 가지 요인에 의한 것이 아니기 때문이다. 잘 알려진 바와 같이, 특정 곤충에 저항성을 보이는 기주식물과 이 곤충에 생식능력에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Reinink *et al.*, 1989; Kocourek *et al.*, 1994). Obopile & Ositile(2010)는 아카시아진딧물이 저항성 동부품종에서 생존율과 생식력을 저하시키는 결과를 확인하였으며, 다른 품종을 사용한 유사한 연구를 통해 아카시아진딧물의 기주에 대한 저항성 기작은 항생작용과 비선호성의 형태로 나타나는 것으로 제안하였다(Billy *et al.*, 1997; Givovich *et al.*, 1988; Ofuya, 1988). Billy *et al.*(1997), Ruggle and Gutierrez (1995), Guldmond *et al.*(1998), Laamari *et al.*(2008)들은 생명표작성이나 개체군 역학과 관련된 연구결과가 특정 진딧물 종의 작물에 대한 저항성 정도를 평가하는 유용한 평가기준이 될 수 있다는 것을 보여주었다.

따라서 본 실험에서도 품종별 섭식행동비교와 함께 복숭아혹진딧물의 착색단고추 품종별 생식, 발육, 수명과 같은 생물학적 특성에 있어 차이를 확인하여 실질적인 기주 선호정도를 확인코자 하였다. 총 산자수와 내적자연증가율(r_m)은 Coletti, Mazzona, Rapido, Scirococo에서 상당히 낮았고 Debla, Ferrari, Orange Glory, Jinju에서 높았다(Table 1). 생식개시일이 빠르고 수명이 길며 생식기간이 길고 산자수와 순증가율이 높게 기록된 품종은 Ferrari, Debla, Orange glory Jinju 였으며, 이 품종들은 EPG 실험결과를 통해 체관부 섭식시간이 길고 구침을 빼고 있는 시간은 짧은 것으로 기록되어 복숭아혹진딧물이 비교적 선호하는 품종인 것으로 판단되었다. 반면에, 생식개시일이 더디고 수명이 짧으며 생식기간이나 산자수가 낮았던 Purple, GreenAce, Thialf 품종은 EPG 실험결과를 통해 체관부섭식시간은 짧고, 구침을 빼고 있는 시간은 길게 나타났으며 구침을 반복적으로 찌르는 탐침횟수는 높게 나타나 실험에 이용된 착색단고추 품종 중 비교적 복숭아혹진딧물에 대해 비선호 품종인 것으로 생각되었다. 그러나 Rapido와 같은 일부 품종에서는 총 산자수와 내적자연증가율(r_m)은 낮았지만, 체관부 섭식시간이 길게 나타나는 결과에 있어 모순되는 양상도 확인되어 두 실험결과를 통해서 품종선호성을 명확히 규정하기엔 부족한 부분들도 있었다.

구침을 꽂고 섭식하는 곤충에 대한 기주 선호성 정도를 연구할 때, 생명표작성과 같은 생태학적 특성을 조사하는데 있어 번

거롭고 시간이 오래 걸리며 품종간 비교에 있어 많은 어려움이 있지만, EPG를 이용한 섭식행동 비교를 통해 기주 선호정도에 대해 좀 더 신속하고 명확한 판단할 수 있었다. 하지만 실질적으로 어떤 품종이 복숭아혹진딧물에 대해서 저항성인지 또는 감수성인지에 대하여 좀 더 명확히 판단하기 위해서는 추가적인 야외실험과 착색단고추 품종별 화학적 특성을 규명할 필요가 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 논문은 2011년도 농림수산식품기획평가원(IPET)의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

Literature Cited

- Bae, S.D., Y.H. Song and Y.D. Park. 1987. Effects of temperature conditions on the growth and oviposition of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal. Kor. J. Plant Prot. 26(1): 13-23.
- Billy, A.I., W.M. Tingey and G.A. Schaefers. 1997. Population dynamics and clonal comparisons of cowpea aphid (Homoptera: Aphididae) on resistant and susceptible cowpea cultivars. Environ. Entomol. 26(2): 250-255.
- Choi, M.Y., G.H. Lee, C.H. Paik and D.H. Kim. 2001. Development and predation of an aphidophagous gall midge, *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Diptera: Cecidomyiidae) on *Myzus Persicae* Sulzer. Kor. J. Appl. Entomol. 40(1): 44-49.
- Choi, M.Y., J.H. Kim, H.Y. Kim, Y.W. Byeon and Y.H. Lee. 2009. Biological control based IPM of insect pests on sweet pepper in greenhouse in the summer. Korn. J. Appl. Entomol. 48(4): 503-508.
- Givovich, A., J. Weibull and J. Pettersson. 1988. Cowpea aphid performance and behaviour on two resistant cowpea lines. Entomol. Exp. Appl. 49(3): 259-264.
- Guldemond, J.A., W.J. van den Brink and E. dan Belder. 1998. Methods of assessing population increase in aphids and the effects of growth stage of the host plant on population growth rates. Entomol. Exp. Appl. 86: 163-173.
- Hu, X.S., H.Y. Zhao, Z.Q. Hu, D.H. LI and Y.H. Zhang. 2008. EPG comparison of *Sitobion avenae* (Fab.) feeding behaviors on three wheat varieties. Agricul. Sci. China. 7: 180-186.
- Hwang, I.C., J.H. Kim and Y.H. Song. 2002. Changes in the fitness of brown plathopper, *Nilaparvata lugens* Stal (Homoptera: Delphacidae) to several resistant rice varieties after multi-generational selection. Kor. J. Appl. entomol. 41(2): 113-121.
- Jeong, C.H., W.H. Ko, J.R. Cho, C.G. Ahn and K.H. Shim. 2006. Chemical components of Korean paprika according to cultivars. Korean J. Food Preserv. 13(1): 43-49.
- Khan, Z.R. and R.C. Saxena. 1988. Probing behavior of three biotypes of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) on different resistant and susceptible rice varieties. J. Econ. Entomol. 81(5): 1338-1345.
- Kim, J. H., H. Y. Kim, Y. H. Kim, Y. H. Lee and M. S. Lee. 2008. Field application program for the biological control of the pests on sweet pepper (Summer culture type). Ann. Res. NIAST (Agricul. Biol. Res.): 1827-1839.
- Kim, J.S. and T.H. Kim. 2004. Temperature-dependent fecundity and life table parameters of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) on cucumber plants. Kor. J. Appl. Entomol. 43(3): 211-215.
- Kim, J.S., T.H. Kim and S.G. Lee. 2005. Bionomics of the green peach aphid (*Myzus persicae* Sulzer) adults on Chinese cabbage (*Brassica campestris*). Korean J. Appl. Entomol. 44(3): 213-217.
- Kim, N.S., M.J. Seo and Y.N. Youn. 2005. Characteristics of feeding behavior of the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, using electrical penetration graph (EPG) technique on different rice varieties. Kor. J. Appl. Entomol. 44(3): 177-187.
- Kimmins, F.M. 1989. Electrical penetration graphs from *Nilaparvata lugens* on resistant and susceptible rice varieties. Entomol. Exp. Appl. 50(1): 69-79.
- Kocourek, F., J. Havelka, J. Berankova and V. Jarosik. 1994. Effect of temperature on developmental rate and intrinsic rate of increase of *Aphis gossypii* reared on greenhouse cucumbers. Entomol. Exp. Appl. 71(1): 59-64.
- Kordan, B., B. Gabrys, K. Dancewicz, L.B. Lahuta, A. Piotrowicz-Cieślak and E. Rowinska. 2008. European yellow lupine, *Lupinus luteus*, and narrow-leaf lupine, *Lupinus angustifolius*, as hosts for the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. Entomol. Exp. Appl. 128: 139-146.
- Koshihara, T. 1988. Chemical control of the diamondback moth in Japan. Pestic. Infor. 53, 14-17.
- Laamari, M., L. Khelfa and A.C. d'Acier. 2008. Resistance source to cowpea aphid (*Aphis craccivora* Koch) in broad bean (*Vicia faba* L.) Algerian landrace collection. Afr. J. Biotechnol. 7(14): 2486-2490.
- Lee, J.U. 2001. Present status of cultivation of sweet pepper and prospect of export. Horticult. Res. 14(2): 36-41.
- Lee, S.R. 1982. Overall assessment of organochlorine insecticide residues in Korean foods. Korean J. Food Sci. Technol. 14(1): 82-94.
- Lei, H., J.C. van Lenteren and W.F. Tjallingii. 1999. Analysis of resistance in tomato and sweet pepper against the greenhouse whitefly using electrically monitored and visually observed probing and feeding behaviour. Entomol. Exp. Appl. 92: 299-309.
- Maia, A.H.N., A.J.B. Luiz and C. Campanhola. 2000. Statistical inference on associated fertility life table parameters using Jackknife technique: Computational aspects. J. Econ. Entomol. 93(2): 511-518.
- Meyer, J.S., C.G. Igersoll, L.L. Macdonald and M.S. Boyce. 1986. Estimating uncertainty in population growth rates: Jackknife vs bootstrap techniques. Ecology 67(5): 1156-1166.

- Miao, J., and B.Y. Han. 2007. The probing behavior of the tea green leafhopper on different tea plant cultivars. *Acta Ecologica Sinica*. 27(10): 3973-3982.
- Obopile, M. and B. Ositile. 2010. Life table and population parameters of cowpea aphid, *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae) on five cowpea *Vigna unguiculata* (L. Walp.) varieties. *J. Pest Sci.* 83(1): 9-14.
- Ofuya, T.I. 1988. Antibiosis in some cowpea varieties resistant to the cowpea aphid, *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae). *Int. Pest Contr.* 30: 68-69.
- Park, J.E., H. Yi, C.G. Kim, S.C. Jeong, W.K. Yoon, K.W. Park, B.K. Lee and H.M. Kim. 2007. The effect of the anthracnose resistant chili pepper (PepEST gene) on the non-target insects, green peach aphids (*Myzus persicae* Sulzer, Homoptera). *Kor. J. Appl. Entomol.* 46(3): 343-348.
- Reinink, K., F.L. Dieleman, J. Jansen, A.M. Montenarie. 1989. Interactions between plant and aphid genotypes in resistance of lettuce to *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae*. *Euphytica* 43(3): 215-222.
- Ruggle, P., A.P. Gutierrez 1995. Use of life tables to assess host plant resistance in alfalfa to *Therioaphis trifolii f. maculate* (Homoptera: Aphididae): Hypothesis for maintenance of resistance. *Environ. Entomol.* 24(2): 313-325.
- Seo, M.J., J.K. Jang, E.J. Kang, M.K. Kang, N.S. Kim, Y.M. Yu and Y.N. Youn. 2005. Feeding behavior in the plant tissues with green peach aphid (*Myzus persicae*, Aphididae; Homoptera) using EPG technique. *Kor. J. Appl. Entomol.* 44(4): 271-276.
- Song, S.S. and N. Motoyama. 1996. Effect of temperatures on the growth of susceptible and malathion resistant green peach aphids strains. *Korean. J. Appl. Entomol.* 35(4): 297-301.
- Song, Y.H., S.Y. Choi and J.S. Park. 1972. Studies on the varietal resistance of "Tong-il" variety (IR-667) to brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal. *Kor. J. Plant Prot.* 11(2): 61-68.
- Tjallingii, W.F. 1978. Electronic recording of penetration behavior by aphids. *Entomol. Exp. Appl.* 24(3): 721-730.
- Velusamy, R. and E.A. Heinrichs. 1986. Electronic monitoring of feeding behavior of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) on resistant and susceptible rice cultivars. *Environ. Entomol.* 15(3): 678-682.
- Yang, J.O., E.H. Kim, C.M. Yoon, K.S. Ahn and G.H. Kim. 2009. Comparison of feeding behavior of B and Q biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) against red pepper and tomato varieties. *Kor. J. Appl. Entomol.* 48(2): 179-188.